

# Características ontológicas de la inducción electromagnética

## The ontological characteristics of the electromagnetic induction

Elena Hoyos<sup>1</sup> y Ma. Cecilia Pocoví<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5150, CP 4400, Salta, Argentina.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avda. Bolivia 5150, CP 4400, Salta, Argentina.

\*E-mail: hoyosele@gmail.com

### Resumen

Se analizan los resultados de la aplicación de una propuesta didáctica para la enseñanza de la inducción electromagnética, a nivel universitario. Esta propuesta resalta el carácter relativista del concepto y su ontología de *tipo proceso*. Los participantes resolvieron una situación problemática diseñada con el fin de detectar qué características ontológicas logran identificar los alumnos al aprender a partir de la propuesta diseñada. La metodología utilizada correspondió a un estudio de caso. Los resultados muestran que la mayoría de los alumnos reconocen las componentes ontológicas del concepto de inducción, pero no identifican las interacciones entre ellas. Además, todos los alumnos utilizan en sus explicaciones el concepto de campo y sus transformaciones, pero no logran analizar situaciones desde distintos sistemas de referencia.

**Palabras clave:** Aprendizaje de la inducción electromagnética; Ontología; Propuesta didáctica; Nivel universitario.

### Abstract

A teaching proposal for the concept of electromagnetic induction, at college level, was implemented and its results were studied. This proposal emphasizes the relativistic character and the ontology of this Process type concept. The subjects of this study solved a problem task that was designed to detect what ontological characteristics are identified by the students after learning from the designed teaching material. A case study methodology was used. The results show that most of the students are able to recognize the ontological components of the induction concept but they do not identify the interactions between them. Moreover, all the students use the field concept and their transformations within their explanations but do not manage to analyze problems from different reference systems.

**Keywords:** Learning electromagnetic induction; Ontology; Teaching proposal; University level.

## I. INTRODUCCIÓN

La teoría de la relatividad especial incorpora el concepto de campo electromagnético, este considera como expresiones de un solo fenómeno a las interacciones eléctricas y magnéticas de la física clásica. En la relatividad especial cada una de las interacciones electromagnéticas manifiesta distintos aspectos de un único fenómeno. La esencia relativista del electromagnetismo es independiente de las velocidades involucradas en las distintas situaciones bajo estudio, la relatividad se manifiesta aun cuando dichas velocidades sean mucho menores que la velocidad de la luz. En particular, la inducción electromagnética es uno de los fenómenos del electromagnetismo esencialmente relativista, entonces para la comprensión de la esencia de este concepto es fundamental un análisis centrado en los aspectos relativistas del mismo. Los planteos relativistas básicos sobre cualquier fenómeno, implican estudiar este desde distintos sistemas de referencia inerciales. de manera que, un punto de partida inevitable en el estudio de la inducción electromagnética

es, su análisis desde dos sistemas de referencia inerciales en movimiento relativo, este estudio implica la utilización de transformaciones de velocidades y de campos, permitiendo revelar la esencia del concepto.

Hoyos (2019) elabora una propuesta para el aprendizaje de la inducción electromagnética desde una perspectiva relativista<sup>1</sup>. En este trabajo se analizan las resoluciones planteadas por alumnos que participaron de la propuesta mencionada, acerca de un problema sobre inducción electromagnética.

## II. MARCO TEÓRICO

En la propuesta didáctica se sostiene que el aprendizaje del concepto de inducción electromagnética es un aprendizaje de tipo avanzado como lo definen Spiro *et al.* (2013), en el cual se espera que los estudiantes logren un entendimiento profundo, razonen con los conceptos adquiridos y los apliquen flexiblemente en diversos contextos. Otras de las teorías que constituyen la base de la propuesta elaborada es la presentada en Alexander (1992; 1997; 1998a; 1998b; 2005) y Alexander y Jettton (2000) donde se resalta una característica distintiva de los textos de física: están compuestos por dos tipos de lenguaje, a los que se refieren como sistemas simbólico y lingüístico (p. 899). Mientras que el primero consiste de fórmulas, gráficos y esquemas, el segundo está representado por las frases y proposiciones que describen la situación física bajo estudio. Los requerimientos de procesamiento de información por parte del lector, aumentan cuanto menos abundantes y explícitas sean las “traducciones” de un sistema a otro en los textos. La última de las teorías que fundamentan la elaboración de la propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de inducción electromagnética es la de Chi (1992, 2008, 2012) que considera como piedra angular del aprendizaje, al conocimiento de la ontología del concepto.

La teoría de cambio conceptual de Chi (1992; 2008; 2012), plantea que los conceptos pertenecen a distintas categorías ontológicas, entre las cuales, se destacan las de *tipo materia* y de *tipo proceso*. En general, los conceptos *tipo proceso* utilizan en su definición mecanismos causales en los cuales se pueden distinguir patrones globales de flujo y componentes de dichos patrones. Además, para esta última categoría existen subcategorías: *procesos directos* y *procesos emergentes*.

Los patrones globales de flujo se pueden describir de distintas maneras, una de las cuales es mediante la identificación de la dirección y el sentido de dicho patrón. Además, sus componentes pueden ser analizadas en múltiples niveles, es decir que las componentes globales pueden ser descompuestas en sus niveles constituyentes. Estas componentes interactúan entre sí y sus interacciones pueden ser caracterizadas de distinta manera. El patrón de flujo tanto de las componentes globales como de las constitutivas puede ser invisible. Los procesos involucran numerosos conceptos, mecanismos y principios simples y complicados del patrón y de las componentes que lo representan unívocamente. Distintos factores (condiciones o variables) pueden influir tanto en los patrones globales de flujo como en el comportamiento específico local de las componentes (Chi, 2008).

Chi (2005) caracteriza dos tipos de proceso, los cuales difieren en el mecanismo que causa el patrón de flujo, y también se diferencian en el comportamiento o la función de las componentes que producen el patrón global de flujo. Uno de los tipos de proceso, se caracteriza porque la naturaleza de las componentes o sus constituyentes están causando directamente el patrón global de flujo, es decir que definen la dirección y el sentido del patrón global. A estos procesos, Chi (2005) los identifica como *procesos directos*. El otro tipo de proceso se caracteriza porque ni las componentes agregadas, ni sus constituyentes están causando directamente (ni indirectamente) el patrón global de flujo. En cambio, el mecanismo del flujo debe explicarse en términos de los resultados interactivos colectivos de todos los componentes constituyentes de modo que ni una componente individual ni un grupo de componentes individuales causan el patrón global. A este tipo de procesos Chi los identifica como *procesos emergentes*.

En forma cualitativa los *procesos emergentes*, involucran componentes uniformes es decir componentes individuales que no se diferencian entre sí y que pueden interactuar con cualquier otra componente. El patrón global de flujo observado en el proceso surge de la contribución de todas las interacciones de todas las componentes, tal como ocurren a lo largo del tiempo. También cualitativamente, el patrón global de flujo de los *procesos directos*, resulta más o menos directamente a partir del comportamiento de algunos subgrupos de componentes o de una sola componente. Es decir que, los comportamientos de las componentes pueden diferenciarse y las interacciones de algunas componentes causan todos o algunos aspectos del patrón. Por lo tanto, los mecanismos causales responsables de los patrones globales de *procesos emergentes* y *directos* son ontológicamente distintos.

Según la teoría de Chi (1992, 2008, 2012), los estudiantes aprenderán un concepto correctamente cuando logren asignarlo a la categoría ontológica correcta. De acuerdo con esta teoría, entonces, un punto de partida fundamental para la enseñanza de cualquier concepto es la correcta caracterización ontológica de lo que se desea enseñar. En la sección que sigue, se muestra el análisis ontológico realizado para el caso de la inducción electromagnética.

<sup>1</sup>No es posible presentar aquí la propuesta completa, pero se recomienda al lector interesado, consultar para conocerla de manera detallada.

[www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF](http://www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF)

### III. EL CASO DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

En el caso de la inducción electromagnética, Hoyos y Pocoví (2018), estudiaron la situación, para un observador inercial  $O$ , en la que una espira está inicialmente en reposo en el límite de una zona del espacio con campo electromagnético (solo faceta magnética) y una zona del espacio con campo nulo. Debido a la acción de un agente externo, la espira se mueve con velocidad constante  $\vec{V}$  respecto del observador  $O$ , hacia la zona del espacio donde no existe campo electromagnético. Como consecuencia de este movimiento,  $O$  observa una corriente y una fuerza electromotriz (fem) inducida en la espira que constituyen un patrón global de flujo, de acuerdo con el análisis ontológico del fenómeno. El campo electromagnético y la espira son componentes del proceso y también lo son, las cargas y la estructura de la espira. Durante el proceso, la estructura de la espira interactúa con las cargas produciendo un movimiento efectivo de estas, que lleva a que el campo electromagnético interactúe con las cargas en movimiento. Estas componentes, entonces, tienen distintos comportamientos y sus interacciones son restringidas y secuenciales; las diferentes componentes tienen diferentes funciones y sus interacciones terminan con el patrón global. Todas estas características permitieron concluir que la inducción electromagnética es un concepto *tipo proceso directo*.

Hoyos (2019) completa el análisis considerando la misma situación desde otro sistema de referencia inercial ( $O'$ ) en movimiento relativo respecto de  $O$ . En el nuevo sistema de referencia, el estado del sistema antes de iniciar la experiencia es: la espira está en reposo en una zona del espacio con campo electromagnético (solo faceta magnética). Una vez iniciado el proceso, el observador  $O'$  ve que la espira está en reposo y que el campo varía con el tiempo. El campo medido por este observador es distinto del medido por  $O$ , esta variación se debe, a que para  $O'$  el campo tiene facetas magnética y eléctrica y, a que tiene distintos valores en distintas zonas del espacio, de manera que parte de la espira está en una zona con campo y otra parte está en una zona sin campo. El campo electromagnético y la espira son componentes de este proceso, las cargas también. Inicialmente, las cargas no interactúan con el campo. Luego, en zonas donde existe este campo, las cargas interactúan con él, es decir que las componentes del proceso interactúan entre sí y de manera diferenciada. Además, estas interacciones se producen necesariamente en forma secuencial. Para este observador, también se concluye que la inducción electromagnética es un concepto *tipo proceso directo*.

Con base en el estudio realizado sobre la ontología de la inducción electromagnética, Hoyos y Pocoví (2018) analizaron la presentación de este concepto en libros de electromagnetismo de nivel universitario básico, centrando el estudio en cuán explícitas se muestran sus características ontológicas. Encuentran que la mayoría de los textos no describen lingüísticamente la naturaleza de este concepto y concluyen que es necesario proponer alternativas para mejorar su presentación.

Así, Hoyos (2019), elaboró una propuesta didáctica que se centró en el diseño de textos y actividades que resaltan las componentes ontológicas del concepto y sus interacciones. Dicha propuesta fue implementada y, en el presente trabajo, se analizan las resoluciones planteadas por los estudiantes en un problema que involucra el concepto de inducción electromagnética desde distintos sistemas de referencia inerciales. De esta forma, se buscó determinar qué categoría ontológica asignan los estudiantes al concepto de inducción electromagnética desde los distintos sistemas de referencia inerciales. Esta búsqueda puede expresarse mediante un par de preguntas generales de la investigación: ¿logran los estudiantes identificar las componentes ontológicas y sus interacciones durante la resolución de un problema sobre inducción electromagnética? Y, ¿son capaces los estudiantes de realizar este análisis desde distintos sistemas de referencia inerciales?

### IV. METODOLOGÍA

En este trabajo se llevó a cabo un estudio de caso. Según Marradi *et al.* (2012), el estudio de caso es una táctica de investigación apropiada para conseguir una caracterización pormenorizada del caso bajo estudio que incluye la descripción de las particularidades de los desarrollos realizados por los estudiantes y, además, este tipo de estudio permite detectar patrones recurrentes en dichos desarrollos (Merriam, 1998).

La implementación de la propuesta didáctica detallada en Hoyos (2019) se realizó en una asignatura de electromagnetismo básico de la Universidad Nacional de Salta, Argentina. Esta asignatura se dicta en el segundo cuatrimestre de segundo año de las carreras de Licenciatura en Física (LF), Licenciatura en Energías Renovables (LER) y Tecnicatura Electrónica Universitaria (TEU); participaron del estudio 20 alumnos. Es decir que estos estudiantes estuvieron expuestos a una presentación (exposiciones orales, textos relacionados al tema y actividades diseñadas en concordancia con la propuesta) del concepto de inducción electromagnética donde se hizo hincapié en los aspectos relativistas del concepto y en la correcta caracterización ontológica del mismo.

El problema elegido para que los alumnos resolvieran después de haber participado de la propuesta didáctica diseñada, versa sobre el concepto de inducción electromagnética y requiere que los estudiantes desarrollen tanto explicaciones lingüísticas como cálculos. Este problema formó parte de una evaluación parcial, es decir que se analizaron sólo las producciones escritas presentadas por los estudiantes y, durante el desarrollo del parcial, se evacuaron todas las consultas referidas al enunciado del problema. Es importante aclarar que los estudiantes habían desarrollado problemas similares en las clases de práctica y en estas se evacuaron todas las dudas conceptuales.

En una estructura ortodoxa de un trabajo de investigación, correspondería enumerar, a continuación, las preguntas de investigación. Sin embargo, se ha elegido proceder primero a mostrar el problema particular planteado a los alumnos de manera que resulte más fácil al lector, contextualizar el planteamiento de las preguntas de esta investigación. A continuación, se transcribe el problema que se presentó a los estudiantes.

“El observador O mide en una zona limitada del espacio un campo electromagnético  $[\vec{E} = 0, \vec{B} = 2T\hat{k}]$ . Las dimensiones de la zona, se muestran en la figura 1. Un circuito con una resistencia  $R = 2,7 \Omega$  se mueve debido a un agente externo a una velocidad  $\vec{v} = 10 \frac{m}{s} \hat{i}$  hacia la derecha.

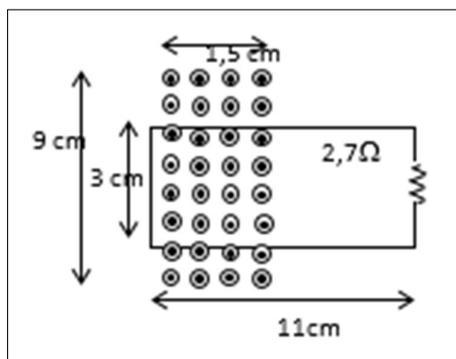


FIGURA 1. Zona rectangular con campo electromagnético y espira que se mueve hacia la derecha.

Las dimensiones del circuito y la ubicación de este en el instante inicial del proceso también se muestran en la figura. Realice las actividades enunciadas a continuación.

- Encuentre la fem inducida en el circuito y la corriente que circula por la resistencia; indique su sentido de circulación.
- Esta fem inducida, ¿es generada por un fenómeno eléctrico o por un fenómeno magnético? Justifique su respuesta. Si su respuesta es “un fenómeno eléctrico”, encuentre el campo eléctrico. Si su respuesta es “un fenómeno magnético”, indique las fuerzas que están actuando sobre las cargas en la espira.
- Un observador  $O'$  se mueve a velocidad a  $\vec{v} = 5 m/s \hat{i}$  respecto de O. Encuentre el campo electromagnético que este observador mide.
- Encuentre la fem inducida en el circuito y la corriente que circula por la resistencia; indique su sentido de circulación para el observador  $O'$ .
- Para el observador  $O'$ , esta fem inducida, ¿es generada por un fenómeno eléctrico o por un fenómeno magnético? Justifique su respuesta. Si su respuesta es “un fenómeno eléctrico”, encuentre el campo eléctrico. Si su respuesta es “un fenómeno magnético”, indique las fuerzas que están actuando sobre las cargas en la espira.”

En lo que sigue, se realizan los comentarios sobre la resolución del problema, estableciendo qué se interpretó como respuestas correctas.

En el inciso a), se deja a criterio del estudiante cómo realizar el cálculo de la fem inducida. En este sentido, puede utilizar la regla del flujo o la definición de fem y se consideran correctas ambas resoluciones. En caso de utilizar la regla del flujo, no quedan explicitadas ni las componentes, ni las interacciones entre ellas, es decir que no se explicitan las características ontológicas del *proceso directo* bajo estudio.

Para contestar correctamente el inciso b), los estudiantes deberían referirse a las componentes del proceso y a las interacciones entre ellas, es decir, deberían explicitar las características ontológicas del proceso que, en este caso, corresponderían a mencionar la estructura de la espira, las cargas y el campo y las interacciones entre estas. Un análisis completo, pondría de manifiesto la secuencialidad en la que ocurren las interacciones que se corresponde con la naturaleza *tipo proceso directo* del concepto aprendido.

En el inciso c), la respuesta correcta debería incluir la aplicación de las transformaciones de campos en su aproximación débilmente relativista.

En el inciso d), el estudiante debería usar el campo encontrado en el inciso anterior y la velocidad transformada de la espira, como vista por el observador  $O'$ , además de realizar el cálculo de la fem inducida. Es decir que debería utilizar, además de las transformaciones de campo del inciso anterior, las transformaciones de Galileo para la velocidad. El cálculo de la fem inducida se debería plantear a partir de la definición de fem. En este inciso, las respuestas correctas de los estudiantes deberían referirse a las componentes del proceso y a las interacciones entre ellas, tal como las registra el observador  $O'$ ; es decir, se deberían explicitar las características ontológicas del proceso. En este caso, deberían incluir: la estructura de la espira, las cargas, el campo y las interacciones entre estas. Un análisis completo manifestaría la secuencialidad en la que ocurren las interacciones.

## V. PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación referidas a las resoluciones que plantearon los alumnos acerca de este problema son:

1. Ante el requerimiento de cálculo de la fem inducida, los estudiantes, si se les da libertad de elección, ¿utilizan naturalmente la definición de fem frente a la regla de flujo?
2. Los estudiantes, ¿son capaces de identificar las componentes del *proceso directo* y sus interacciones? Y, además, ¿son capaces de aplicar esas características identificadas en la resolución del problema?
3. ¿Logran los estudiantes aplicar correctamente las transformaciones de campo en la aproximación estudiada?
4. En un nuevo sistema de referencia, y ante el requerimiento de cálculo de la fem inducida, los estudiantes, si se les da libertad de elección, ¿prefieren utilizar naturalmente la definición de fem a la regla de flujo?
5. En el nuevo sistema inercial de referencia, ¿los estudiantes son capaces de identificar las componentes del *proceso directo* y sus interacciones? Y, además, ¿son capaces de aplicar esas características identificadas en la resolución del problema?

## VI. RESULTADOS

Para responder a la primera pregunta de investigación, se analizaron las resoluciones del inciso (a) del problema propuesto. Este inciso fue resuelto correctamente por los veinte alumnos; cinco de los cuales lo hacen utilizando la definición de fem, mientras que los restantes utilizan la regla del flujo. Una de las hipótesis que se plantean para explicar la cantidad de estudiantes que trabajan con la regla del flujo es la importancia que se le otorga a ésta, en la bibliografía, específicamente en los ejemplos de aplicación presentados. Cabe destacar que, en el dictado de la asignatura, después de las actividades planteadas por la propuesta didáctica, se enseña la regla del flujo y se utiliza para la resolución de algunos problemas. Una vez que los estudiantes incorporan la metodología de trabajo con esta regla que se caracteriza por lo mecánico y automático de su aplicación, aparentemente, se sienten cómodos con ella y constituye su recurso natural en el planteo de los problemas.

Para contestar la segunda pregunta, se analizaron las respuestas correspondientes al inciso (b); siete alumnos identifican en sus explicaciones la fuerza de interacción entre la estructura de la espira y las cargas y la interacción entre cargas en movimiento y el campo magnético. En otras palabras, identifican correctamente las componentes y las interacciones características de la ontología del proceso. Sin embargo, sólo uno de ellos hace referencia a la secuencialidad que caracteriza a las interacciones, en su explicación. Cinco alumnos expresan que la fuerza que interviene es una fuerza resultante, pero no aclaran cuáles son las fuerzas componentes; esos alumnos la escriben correctamente en forma simbólica. Tres alumnos manifiestan que se trata de un fenómeno magnético y plantean la definición de fem sin realizar ninguna aclaración respecto de la fuerza que utilizan. Los cinco alumnos restantes elaboran explicaciones confusas o incorrectas.

Con base en las respuestas de los incisos (a) y (b) puede concluirse que los alumnos identifican las componentes y la mayoría de sus interacciones para el caso de la inducción y la mayoría aplican estas características ontológicas de manera correcta en la resolución.

Del análisis de las resoluciones planteadas por los estudiantes para el inciso (c) del problema, se encuentra que todos los estudiantes aplican de manera correcta las transformaciones de campo en su aproximación débilmente relativista, lo cual contesta la tercera pregunta de la presente investigación.

En el inciso (d), ocho alumnos aplican en forma incorrecta la regla de flujo. Estos alumnos habían calculado en el inciso anterior, y de manera correcta, el campo electromagnético medido por el observador  $O'$ . Sin embargo, al calcular el flujo de la fase magnética del campo, cuestión a la que deben recurrir al hacer uso de la regla de flujo, no

tienen en cuenta la transformación del área en dicha expresión, pero sí la de la componente magnética del campo. Ocho alumnos recurren a la definición de fem para realizar el cálculo, tres de ellos lo hacen incorrectamente ya que no utilizan los campos transformados para llevar a cabo el cálculo requerido. Los cuatro restantes contestan incorrectamente. Este resultado negativo podría explicarse de la siguiente manera: por un lado, existen estudiantes que, una vez que incorporan la regla de flujo a su forma de trabajo, la consideran como un instrumento de aplicación universal que, básicamente, para su utilización, no requiere del análisis del contexto. Por otro lado, existen estudiantes que utilizan la definición de fem pero no integran del todo el procedimiento en el cálculo de ésta con las transformaciones de campo. Se podría interpretar que, al tratarse de un problema con enunciado tan abierto, se favorece el uso de esta regla. Esta interpretación se ve, además, apoyada por el resultado que se obtuvo en la instancia de recuperación realizada por tres alumnos; en dicha evaluación, el enunciado solicita, de manera explícita, el desarrollo del problema con la definición integral de la fem. Los tres estudiantes realizaron el análisis correctamente.

En el último inciso (e), las respuestas de doce alumnos expresan que el fenómeno que genera la fem es electromagnético y analizan correctamente las interacciones que se producen en la inducción electromagnética.

Los resultados descriptos permiten contestar la cuarta pregunta de investigación planteada. Pareciera que este grupo de alumnos no manifiesta una preferencia por el uso de la regla de flujo o de la definición de fem para resolver este inciso del problema que incorpora el análisis de una situación física desde un sistema de referencia que no es tradicionalmente utilizado.

En cuanto a la quinta pregunta de investigación, con base en los resultados, puede apreciarse que, si bien los alumnos identifican las componentes y sus interacciones para el caso de la Inducción, no logran utilizarlas de manera correcta.

## VII. CONCLUSIONES

En respuesta a las preguntas generales de la investigación (¿Logran los estudiantes identificar las componentes ontológicas y sus interacciones durante la resolución de un problema sobre inducción electromagnética? Y ¿Son capaces los estudiantes de realizar este análisis desde distintos sistemas de referencia inerciales?), se puede afirmar que los estudiantes que participaron en la implementación de la propuesta didáctica que se centra en la descripción de la ontología del concepto de inducción electromagnética, logran identificar las componentes ontológicas y sus interacciones. Sin embargo, la correcta aplicación de estas características para resolver el problema planteado, depende del contexto: mientras que lo pueden hacer cuando se plantea la resolución utilizando el sistema de referencia habitual (O), no logran incorporar esas características ontológicas al análisis desde otro sistema de referencia (O'). Esta situación puede plantear cuestiones a futuro como ser la modificación de la propuesta didáctica planteada para incorporar más actividades relacionadas con el nuevo sistema de referencia.

Por último, se describe otro resultado que, por sus particularidades puede mostrarse como un patrón en las respuestas de los estudiantes, que resulta digno de mención. Parte de este patrón ya fue mencionado y consiste en que muchos llevan a cabo el desarrollo mediante la regla de flujo, cuando en los problemas se requiere que los alumnos realicen cálculos relacionados a la inducción electromagnética. Sin embargo, el patrón identificado se completa si se nota que, cuando los enunciados requieren la descripción lingüística del concepto, los estudiantes realizan descripciones detalladas y precisas acerca de sus componentes ontológicas y sus interacciones.

Se espera que este tipo de planteo realizado resaltando el aspecto relativista del concepto de inducción electromagnética sirva para incentivar la enseñanza y el aprendizaje basado en un análisis desagregado de la naturaleza de los conceptos físicos en general, de manera de lograr un conocimiento más profundo de éstos para evitar limitarse a reglas y ecuaciones matemáticas.

## REFERENCIAS

Alexander, P. A. (1992). A cognitive perspective on mathematics: Issues of perception, instruction, and assessment. En J. P. Pontes, J. F. Matos, y D. Fernandes (Eds.), *Mathematical problem solving and new information technologies*. New York: Springer-Verlag, 61-76

Alexander, P. A. (1997). Mapping the multidimensional nature of domain learning: The interplay of cognitive, motivational, and strategic forces. En M. L. Maehr, y P. R. Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement*. Greenwich, CT: JAI Press, 10, 213-250.

Alexander, P. A. (1998a). Positioning conceptual change within a model of domain literacy. En B. Guzzetti, y C. Hynd (Eds.), *Theoretical perspectives on conceptual change: Multiple ways to understand knowing and learning in a complex world*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 55-76.

Alexander, P. A. (1998b). The nature of disciplinary and domain learning: The knowledge, interest, and strategic dimensions of learning from subject-matter text. En C. Hynd (Ed.), *Learning from text across conceptual domains*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 263-287.

Alexander, P. A. (2005). The path to competence. A lifespan developmental perspective on reading. *Journal of Literacy Research*, 413-436.

Alexander, P. A., y Jetton, T. L. (2000). Learning from Texts: A multidimensional and developmental perspective. En M. P. Kamil (Ed.), *Handbook of Research of Reading*. NJ: Lea Inc, 285-310

Chi, M. T. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. En R. N. Giere, y H. Feigl (Eds.), *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science* Minneapolis: University of Minnesota Press, 129-186.

Chi, M. T. (2008). Three types of conceptual change. Belief revision, mental model transformation and categorical shift. En Vosniadu (Ed.), *Handbook of research on conceptual change*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 61-82.

Chi, M. T., Roscoe, R., Slotta, J., Roy, M., y Chase, M. (2012). Misconceived causal explanations for "emergent" processes. *Cognitive Science*, 36, 1-61.

Hoyos, E. (2019). Cambio conceptual en el aprendizaje de fenómenos físicos tipo proceso: inducción electromagnética. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Hoyos, E y Pocovi, M. C. (2018). Ontología del concepto de inducción electromagnética en libros de textos universitarios. *Revista de enseñanza de la Física*, 30, 111-118.

Marradi, A., Archenti, N. y Piovani, J. I. (2012). *Metodología de las ciencias sociales*. Buenos Aires: Cengage Learning.

Merriam, S. (1998). *Qualitative research and case study applications in education*. San Francisco: Jossey Bass.

Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J., y Anderson, D. K. (1988/2013). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. En D. E. Alvermann, N. J. Unrau, y Ruddell, R. B. (Eds.), *Theoretical models and processes of reading*. 6.ª ed. (544-557). Newark, DE: International Reading Association.